

## **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Gestão Territorial  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2***

## **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**

*Sâmara Rachel Ribeiro da Silva Trajano*

*Claudio Aparecido Spadotto*

*Wilson Anderson Holler*

*Jaudete Daltio*

*Paulo Roberto Rodrigues Martinho*

*Natália Santos Fois*

*Beatriz Barbi de Oliveira Santos*

*Hugo Henrique Toschi*

*Flávia Seixas Lisboa*

**Embrapa Gestão Territorial**

Campinas, SP

2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Gestão Territorial**

Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP, Brasil

Fone: + 55 (19) 3211-6200

www.sgte.embrapa.br

sac.sgte@embrapa.br

### **Comitê de Publicações da**

#### **Embrapa Gestão Territorial**

Presidente: *Mirian Therezinha Souza da Eira*

Secretária-Executiva: *Rosângela Galon Arruda*

Membros: *Alba Chiesse da Silva*

*Helena Sicoli*

*Ivan Sérgio Freire de Sousa*

*Eliane Gonçalves Gomes Assunta*

*Rosana Hoffman Câmara*

*Chang das Estrelas Wilches*

*Marita Féres Cardilo*

*Otávio Valentim Balsadi*

*Jeane de Oliveira Dantas*

Supervisão editorial: *Erika do Carmo Lima Ferreira*

Revisão de texto: *Jane Baptistone de Araújo*

Normalização bibliográfica: *Sabrina Déde Degaut Pontes*

Editoração eletrônica: *Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

#### **1ª edição**

On-line (2012)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Gestão Territorial

---

Análise morfométrica de bacia hidrográfica : subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape / Sâmara Rachel Ribeiro da Silva Trajano... [et al.]. - Campinas, SP, 2012.

33 p. : il. color. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Gestão Territorial, ISSN 2317-8779 ; 2).

1. Geoprocessamento. 2. Geomorfologia. 3. Análise morfométrica. 4. Bacia hidrográfica. 5. Gestão hídrica. I. Trajano, Sâmara Rachel Ribeiro da. II. Spadotto, Claudio Aparecido. III. Holler, Wilson Anderson. IV. Daltio, Jaudete. V. Martinho, Paulo Roberto Rodrigues. VI. Fois, Natália Santos. VII. Santos, Beatriz Barbi de Oliveira. VIII. Toschi, Hugo Henrique. IX. Lisboa, Flávia Seixas. X. Título. XI. Série.

---

CDD 551.41

© Embrapa 2012

# Sumário

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Resumo .....                 | 5  |
| Abstract .....               | 7  |
| Introdução .....             | 8  |
| Revisão de Literatura .....  | 9  |
| Material e Métodos .....     | 15 |
| Resultados e Discussão ..... | 22 |
| Conclusões .....             | 26 |
| Referências .....            | 29 |



# **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de Caso no Alto e Médio Mamanguape**

---

*Sâmara Rachel Ribeiro da Silva Trajano<sup>1</sup>*

*Claudio Aparecido Spadotto<sup>2</sup>*

*Wilson Anderson Holler<sup>3</sup>*

*Jaudete Daltio<sup>4</sup>*

*Paulo Roberto Rodrigues Martinho<sup>5</sup>*

*Natália Santos Fois<sup>4</sup>*

*Beatriz Barbi de Oliveira Santos<sup>6</sup>*

*Hugo Henrique Toschi<sup>6</sup>*

*Flávia Seixas Lisboa<sup>6</sup>*

## **Resumo**

Para esta análise, foram criados os mapas da drenagem e hipsométrico, levando em conta que o relevo é um dos aspectos mais importantes deste estudo, pois permite compreender a disposição da drenagem e tem aplicação direta para a gestão territorial. A análise da morfometria utilizou 17 índices morfométricos entre os mais de 50 existentes na literatura, dentre os quais podem-se destacar: fator de forma; índice de circularidade; coeficiente de compacidade; índice de rugosidade; padrão de drenagem; canais de drenagem; amplitude altimétrica; densidade de drenagem; textura topográfica; e coeficiente de manutenção. Com

---

<sup>1</sup> Geógrafa, analista da Embrapa Gestão Territorial. E-mail: samara.trajano@embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, pesquisador da Embrapa Gestão Territorial. E-mail: claudio.spadotto@embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro-cartógrafo, analista da Embrapa Gestão Territorial. E-mail: wilson.holler@embrapa.br

<sup>4</sup> Analistas de sistema, analistas da Embrapa Gestão Territorial. E-mail: natalia.fois@embrapa.br, jaudete.daltio@embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheiro-agrônomo, analista da Embrapa Gestão Territorial. E-mail: Paulo.martinho@embrapa.br

<sup>6</sup> Graduandos do Instituto de Geociências (Unicamp), estagiários da Embrapa Gestão Territorial. E-mails: beatriz.santos; hugo.toschi; flavia.lisboa@colaborador.embrapa.br

base na análise dos resultados, pode-se concluir que o fator de forma (0,44), o índice de circularidade (0,78), o coeficiente de compacidade (1,12) e o índice de rugosidade (0,72) demonstraram que a bacia hidrográfica em estudo exibe um formato alongado contribuindo, dessa forma, para o processo de escoamento e apresentando, portanto, baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes. Enfim, esses parâmetros podem ser utilizados para comparação entre os diversos tipos de áreas como microbacias, fazendas ou municípios, auxiliando, no monitoramento, análise e gestão territorial.

**Palavras-chave:** gestão hídrica, índices morfométricos, geoprocessamento.

# **River Basin Morphometric Analysis – Subsidie for land management**

## **Case study in High and Medium Mamanguape**

---

### **Abstract**

For this study, were created drainage and hypsometric maps, considering that relief is the most important aspect of this study, it allows comprehending the disposition of drainage and it has direct application to land management. This study presents seventeen of fifty indexes of morphometric analysis, among which we highlight: form factor, roundness index, compacity coefficient, roughness index, drainage pattern, drainage channels, altimetry amplitude, drainage density, topographic texture and maintenance coefficient. Analyzing the results, it can be concluded that form factor (0,44), roundness index (0,78), compacity coefficient (1,12) and the roughness index (0,72) demonstrated that the watershed in study has an elongated shape, thus contributing for the process flow and low susceptibility to occurrence of floods. Anyway, these parameters may be used to compare different types of micro basin, farms or municipalities, supporting the monitoring, analysis and land management.

**Keywords:** water management, morphometric index, geoprocessing.



## Introdução

As diversas interações das atividades antrópicas causam modificações e desequilíbrios ao ambiente natural, refletindo diretamente no desenvolvimento dos países e na qualidade de vida das populações.

Os problemas com a utilização da água se tornam mais agravantes quando se trata de uma região que, apesar de pertencer ao país que concentra a maior quantidade de água doce do mundo, é considerada uma “região problema”, onde o maior entrave chama-se semiaridez ou escassez d’água – a região Nordeste do Brasil.

Essa região possui um sistema hidrográfico dos mais frágeis, dotado de recursos hídricos de regime intermitente que percorrem a depressão sertaneja sem, no entanto, drená-la de forma eficaz, promovendo secas periódicas, degradação dos solos, da vegetação, falta de trabalho e miséria.

No alto curso, a bacia hidrográfica Mamanguape, alvo desta pesquisa, atravessa a região do Cariri e do Brejo. No Agreste, onde se localiza o médio curso, predomina a atividade pecuária. O Rio Mamanguape é temporário em quase toda a sua extensão, tornando-se perene nas proximidades da cidade de Mamanguape, onde sofre a influência das marés oceânicas. De modo geral, essa bacia hidrográfica apresenta grande importância para as atividades da região, sendo utilizada para irrigação agrícola, pecuária, bem como para o abastecimento humano e de pequenas indústrias.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo possibilitar a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica da área de estudo, de forma padronizada e prática, visando subsidiar a elaboração de prognósticos, a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. A área de estudo para análise morfométrica foi o alto e o médio curso da bacia hidrográfica de Mamanguape, PB, a partir do uso de imagens Aster (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

## Revisão de Literatura

Os recursos hídricos, em especial, estão sendo fortemente comprometidos no que tange à qualidade e/ou quantidade, bem como no que diz respeito às alterações das estruturas dos cursos d'água. A água, além de ser fonte de vida, desempenha papéis importantes na natureza e no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (agropecuárias e industriais).

Nesse sentido, a gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta estratégica para gestão territorial, e a bacia hidrográfica é uma das principais unidades de intervenção e análise. Nessa perspectiva, Spadotto (2012) relata a importância da gestão territorial como instrumento de planejamento, implantação e acompanhamento das políticas públicas e de setores privados.

De acordo com Holler e Spadotto (2012), existe uma crescente necessidade de produção de dados e sistemas informatizados para a gestão em base territorial, com o objetivo de, entre outras finalidades, realizar o monitoramento de uso e ocupação das terras e o atendimento às grandes demandas dos setores público e privado, que são essenciais para orientar as políticas de planejamento e investimento no País. Os autores conceituam ainda a gestão territorial como um componente importante na tomada de decisão, enfatizando o uso de geotecnologias na sistematização do conhecimento, o que auxilia no aumento da eficiência da gestão territorial.

O gerenciamento de bacias hidrográficas é um instrumento orientador das ações do poder público e da sociedade em longo prazo, e tem como objetivo garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos naturais pelo homem, visando ao desenvolvimento sustentável (LANNA, 2000).

Dessa forma, as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação na gestão dos

recursos hídricos, uma vez que, além de serem áreas de captação natural da água, são também áreas de atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Como afirma Yassuda (1993), a bacia hidrográfica é área única de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural.

De acordo com Lanna (2000), a prática de gerenciamento de bacias hidrográficas no mundo teve sua origem em duas iniciativas paralelas e independentes. Na primeira delas – a reabilitação dos Alpes, ocorrida no final do século 19 – foram desenvolvidas aplicações e técnicas de recuperação de solos e correção de cursos de águas torrenciais. Na segunda iniciativa, ocorrida com o movimento conservacionista dos EUA (década de 1930), o foco foi direcionado ao manejo da vegetação e à conservação do solo e das águas. A característica comum de ambas as iniciativas é que elas foram concebidas para bacias com pouca ou nenhuma atividade antrópica. A finalidade era, portanto, alterar os fenômenos físicos e naturais (LANNA, 2000).

No Brasil, as primeiras atividades de coleta de dados hidrometeorológicos começaram a partir do século 20. Nessa época, o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e o Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) instalaram as primeiras estações em bacias hidrográficas nos rios São Francisco, Paraná e Paraíba do Sul. A escolha ocorreu em razão da importância desses rios, não só no que se refere ao aproveitamento hidrelétrico, mas também no que diz respeito ao uso da água para o abastecimento público (IBIAPINA et al., 1999).

Em 1934, foi promulgado o Código das Águas, estabelecido pelo Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho (BRASIL, 1934), que dispõe, entre outras normas, sobre as águas em geral e sua propriedade, aproveitamento das águas, forças hidráulicas e regulamentação da indústria hidrelétrica. Esse fato foi um marco na legislação ambiental brasileira e um verdadeiro avanço para a época.

Segundo Tucci et al. (2003), após a segunda Guerra Mundial houve um grande desenvolvimento econômico e a construção de muitas obras hidráulicas, principalmente de geração de energia elétrica. Nessa época, países em desenvolvimento como o Brasil estavam na fase de registrar seus recursos e desenvolver a construção de obras hidráulicas de menor porte.

Com a construção de grandes empreendimentos hidrelétricos e a deterioração da qualidade da água de rios e lagos próximos aos grandes centros urbanos, na década de 1960, começa o despertar da conscientização ambientalista. Conferências como a de Estocolmo (1972), de Belgrado (1975) e de Tbilisi (1977), com dirigentes de países e ambientalistas de todo o mundo, tiveram como objetivo discutir a minimização dos impactos causados pelo desenvolvimento acelerado (MEDINA, 2005; TUCCI et al., 2003).

Já nos anos 1980, foi aprovada a legislação ambiental e seus critérios de controle de sistemas hídricos e hidrelétricos. Nesse período, as preocupações com o meio ambiente e a promulgação de leis ambientais contribuíram para diminuir o investimento internacional no Brasil, eliminando financiamentos internacionais para construção de hidrelétricas, com grande impacto na capacidade de expansão do sistema no Brasil (TUCCI et al., 2003).

A Política Nacional do Meio Ambiente estabelecida pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), teve como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, e propiciou condições para o desenvolvimento socioeconômico, melhoria da dignidade da vida humana e preservação dos interesses da segurança nacional. Entre os princípios adotados por essa lei, podem-se destacar: a racionalização do uso da água, assim como de outros recursos ambientais; o planejamento e a fiscalização do uso de recursos ambientais; o controle e o zoneamento das atividades potenciais ou efetivamente poluentes; o acompanhamento do estado da qualidade ambiental e a recuperação de áreas degradadas, entre outros princípios (KETTELHUT et al., 1999).

Para entender as necessidades de planejamento e manejo do ambiente, Hidalgo (1985) aponta que as bacias hidrográficas devem ser divididas em unidades menores: sub-bacias, microbacias e setores.

Ainda nesse período, os problemas de degradação ambiental se agravaram, em virtude da expansão das áreas urbanas, da ampliação das fronteiras agrícolas e da intensificação da mecanização no campo. Por causa da experiência realizada no Estado do Paraná, o governo federal instituiu, por meio do Decreto de nº 94.076, de 5 de março de 1987 (BRASIL, 1987), o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH), na intenção de promover um adequado aproveitamento agropecuário de microbacias hidrográficas, mediante a adoção de práticas de utilização racional dos recursos naturais renováveis.

Em 1987, na cidade de Salvador, iniciaram-se, também, na Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), discussões sobre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos em Salvador, prosseguindo em 1989 em Foz de Iguaçu, e no Rio de Janeiro em 1991, nos Simpósios Nacionais realizados nessas localidades (BARTH, 1999).

Porto e Porto (2008) citam que a gestão dos recursos hídricos calcados em bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990, na reunião preparatória da Rio-92, na qual foram acordados os Princípios de Dublin, os quais entendem que, para ser efetiva, a gestão dos recursos hídricos deve considerar e integrar todos os aspectos físicos, sociais e econômicos.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) e a Lei nº 9.433 (Lei das Águas), de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), instituíram a Política Nacional de Recursos Hídricos e criaram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecendo alguns fundamentos, tais como: “a água é um bem de domínio público”; “recurso natural limitado, dotado de valor econômico”; “em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”; e “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos

e a Gestão dos Recursos Hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades” (KETTELHUT et al., 1999).

Segundo Tucci et al. (2003), os anos 1990 foram marcados pela ideia do desenvolvimento sustentável, na busca do equilíbrio entre o investimento no crescimento dos países e a conservação ambiental. Nesse período, os investimentos internacionais foram direcionadas à melhoria ambiental das cidades, principalmente das grandes metrópoles brasileiras.

Nesse sentido, a Lei Federal dos Recursos Hídricos, de 1997, estabeleceu uma série de inovações consubstanciadas nos princípios gerais de proteção ao meio ambiente e de desenvolvimento sustentável, transformando a bacia hidrográfica em uma unidade territorial de gestão dos recursos hídricos, enquanto a água passa a ser um bem de domínio público cuja gestão deve ser descentralizada e participativa.

De acordo com Porto e Porto (2008), a Lei nº 9.433/1997 implicou em profundas mudanças na administração pública e de seus usuários já que, a partir de então, tornou-se necessário ser receptivo ao processo de parceria. Os autores afirmam ainda que a maior dificuldade de implantação desse modelo de gestão descentralizada e compartilhada é o entendimento de que a gestão central passa a ser social.

Rocha (1997) conceitua bacias hidrográficas, do ponto de vista hidrológico, como territórios que apresentam uma rede de drenagem comum e delimitada pelos divisores de águas superficiais e subterrâneas. Nesse caso, a rede de drenagem constitui um importante indicador das alterações ocorridas na composição da paisagem das bacias hidrográficas, seja por mudanças na sua estruturação, forma, ganho seja por perda de canais, decorrentes da intensificação do processo erosivo.

Segundo Campanharo (2010), morfometria é o estudo matemático das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica, expresso em índices comumente organizados em três grandes grupos: os que indicam características geométricas, os que indicam

características da rede de drenagem e os que expressam características do relevo.

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é constituído pelo curso d'água principal e por seus tributários e inclui todos os cursos d'água – perenes, intermitentes ou efêmeros (BARBOSA JUNIOR, 2004). O padrão de drenagem está associado ao tipo de solo e de rocha e à estrutura geológica da área estudada. Assim, padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos de água que podem ser influenciados na sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas (controle estrutural), pela resistência litológica variável (controle litológico), pelas diferenças de declive e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão. São exemplos de padrões de drenagem: dendrítica, anelar, radial e paralela (ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO, 2006).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas, segundo Faria et al. (2009), pode ser definida como a “análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica” que permite um conhecimento da dinâmica fluvial, bem como das relações existentes entre ela e os diversos componentes do meio físico e biótico de uma bacia hidrográfica (FARIA et al., 2009).

Lindner et al. (2007) afirmam em sua pesquisa que os índices morfométricos são importantes pressupostos para a prevenção de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens. Além disso, podem ser utilizados para apontar áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos, configurando importantes instrumentos para o planejamento e gestão territorial. Como instrumento, os indicadores morfométricos justificam a sua importância na gestão dos espaços urbanos e rurais, e podem contribuir para um melhor aproveitamento dos recursos naturais, bem como na prevenção da degradação desses ambientes.

De acordo com Carvalho et al. (2010), a consolidação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo apresentaram-se como um importante método automático para delimitação de bacias. O autor afirma ainda que, a utilização de MDT para delimitação de bacias se configura atualmente como a forma mais prática, rápida e menos subjetiva para delimitação.

## Material e Métodos

A metodologia deste trabalho pode ser dividida basicamente nas seguintes etapas, de acordo com a Figura 1: a) tratamento da imagem Aster; b) delimitação automatizada da bacia utilizando-se a ferramenta Hydrology; c) cálculo dos atributos morfométricos; d) análise comparativa das classificações e dos atributos morfométricos.

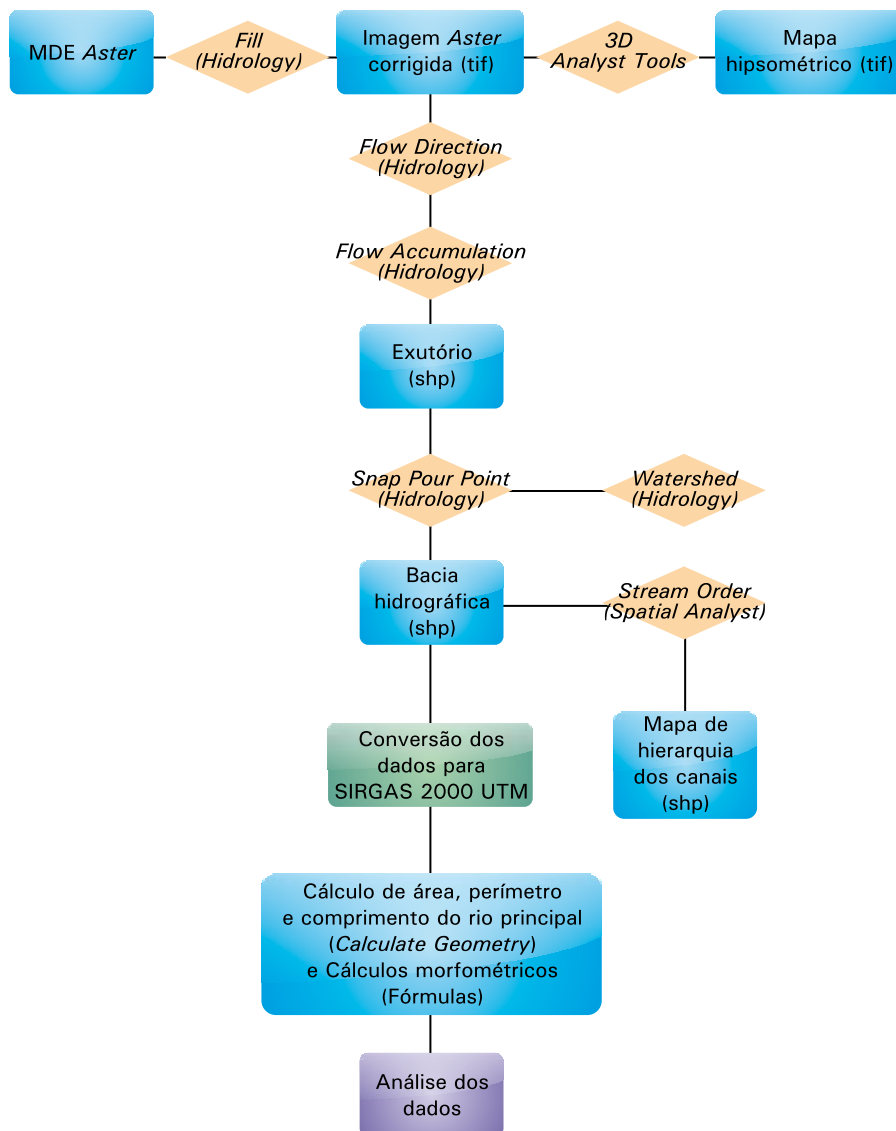
### Tratamento da Imagem Aster

A primeira parte da metodologia consistiu na inserção das cenas S07W036 e S08W036 do mosaico de imagens MDE Aster (NASA, 2011) em formato tiff e shapefiles de municípios (IBGE, 2010) no software ArcGIS (ESRI), utilizado para a realização de todos os procedimentos técnicos deste trabalho. De posse das imagens MDE Aster, foram aplicadas correções para as células sem valores (no data) e células com altitude negativa, utilizando-se o recurso fill da ferramenta *Hydrology – Spatial Analyst* do ArcToolbox.

### Delimitação da Bacia

Com a imagem tratada e com a utilização da ferramenta *Hydrology* (ArcGIS), gerou-se a direção de fluxo (*flow direction*) e o fluxo acumulado (*flow accumulation*), etapas necessárias para a delimitação da drenagem no programa. Posteriormente, realiza-se a extração dos canais de drenagem e a delimitação da bacia hidrográfica, *snap pour point* e *watershed*, respectivamente.



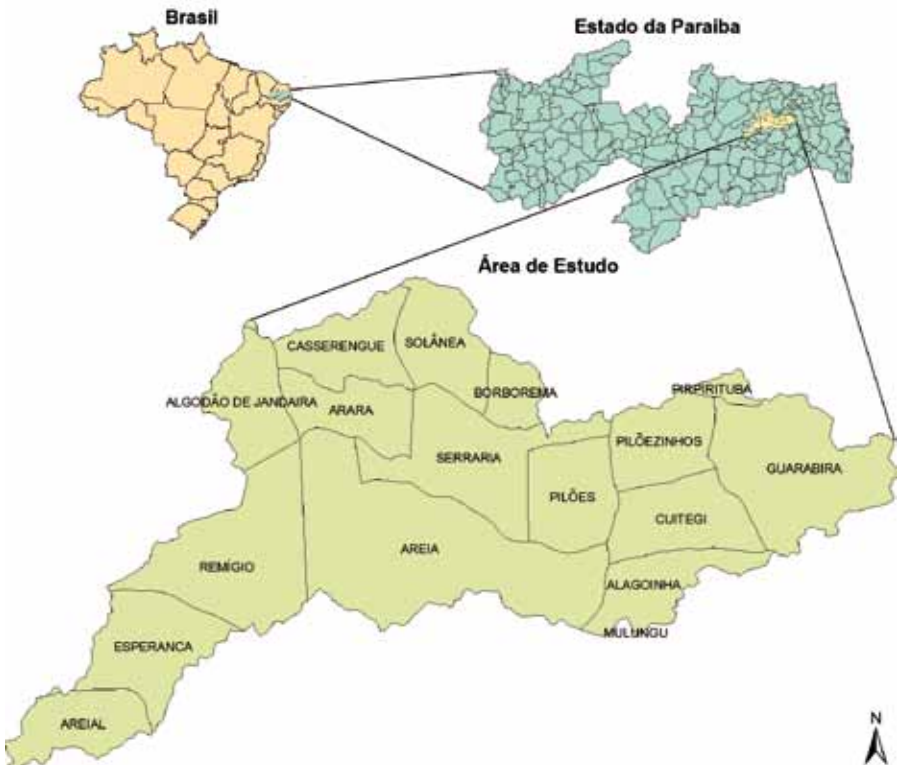


**Figura 1.** Método para cálculo de morfometria de bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica em estudo foi delimitada a partir das coordenadas do exutório (ponto para onde converge a vazão dessa bacia) na divisa dos municípios de Araçagi e Guarabira. Esse ponto foi selecionado em razão

da importância da região, além de fazer parte do alto e do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, cujas nascentes localizam-se no Município de Areial (SILVA et al., 2011a). A área de estudo abrange também parte dos municípios de Esperança, Remígio, Algodão de Jandaíra, Casserengue, Arara, Areia, Serraria, Solânea, Borborema, Pilões, Alagoinha, Cuitegi, Pilõezinhos e Guarabira (Figura 2).

Sua localização geográfica compreende o retângulo envolvente de latitudes  $6^{\circ}87'$  a  $7^{\circ}06'S$  e longitudes  $35^{\circ}39'$  a  $35^{\circ}96'O$ , no quadrante NE do Estado da Paraíba.



**Figura 2.** Mapa de localização da área em estudo.

## **Cálculo dos Atributos Morfométricos**

Neste trabalho, utilizou-se o formato de arquivo shapefile (shp), que é amplamente utilizado em ferramentas de SIG. A checagem em campo foi realizada por amostragem baseada em metodologia proposta por Silva et al. (2011a), para verificação, descrição e atualização da carta pré-existente. Concluída tal etapa, foi utilizado o método de extrapolação (HOTT et al., 2004), fundamentado nas correlações, cujos resultados foram os mapas em escala 1:60.000.

Os dados Aster (com resolução espacial de 30 m) encontravam-se no sistema de referência WGS84. Seguindo os parâmetros indicados pelo IBGE (2012), o projeto foi convertido para o sistema de referência Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e projetados no sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), para que os cálculos de área e de distâncias fossem homogeneizados.

### ***Características Geométricas***

A próxima etapa foi a realização da análise geométrica da bacia, que corresponde à análise dos atributos da rede de drenagem e da morfologia (CHRISTOFOLETTI, 1969). Nessa análise, estão englobados índices de medições lineares e planimétricas, como a área e o perímetro da bacia, que foram geradas de modo automático a partir da função *Calculate Geometry*.

A área da bacia é toda área plana (projetada sobre o plano horizontal) limitada pelos divisores topográficos da bacia ou, simplesmente, a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial. As áreas de grandes bacias são normalmente medidas em quilômetros quadrados, enquanto bacias menores podem ser medidas em hectares (BARBOSA JUNIOR, 2004). A medida básica adotada para ser utilizada neste trabalho foi o quilômetro (km), delimitada com o exutório por meio do ArcGIS, utilizando-se a ferramenta *Hydrology* e o MDE.

O fator de forma ( $K_f$ ) relaciona a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais distante do divisor de água). O fator de forma nesta pesquisa foi baseado em metodologia proposta por Cardoso et al. (2006) e pode ser calculado a partir dos valores conhecidos, utilizando-se a fórmula:

$$K_f = A/C^2,$$

em que:  $K_f$  é adimensional;  $A$  = área de drenagem (km<sup>2</sup>);  
 $C$  = comprimento do eixo da bacia (km).

Para o índice de circularidade ( $I_c$ ), utilizou-se classificação proposta por Schumm (1956), que descreve que valores maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (picos de cheias). Os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, o que contribui para o processo de escoamento. Esse índice pode ser calculado da seguinte forma:

$$I_c = 12,57 \times A/P^2,$$

em que:  $A$  = área (km<sup>2</sup>);  $P$  = perímetro (km).

Para o cálculo do coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), foi utilizada a classificação proposta por Villela e Mattos (1975) que indica: quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Para coeficientes acima de um, a bacia irá apresentar baixa suscetibilidade de ocorrência de inundações; por sua vez, quanto menor for o valor desse coeficiente (números próximos a zero), mais arredondada será a bacia e mais sujeita a enchentes ela estará. Esse coeficiente é um valor adimensional que varia com a forma da bacia independentemente do seu tamanho. O cálculo do coeficiente de compacidade pode ser feito a partir da equação:

$$K_c = 0,28 \times P/\sqrt{A},$$

em que:  $P$  = perímetro (km);  $A$  = área da bacia (km<sup>2</sup>).

O índice de rugosidade ( $IR$  ou  $Ct$ ) relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Trata-se de um índice adimensional que corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, o que indica o desnível médio da bacia hidrográfica. Pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Ct = Dd \times H,$$

em que:  $Dd$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ );  $H$  = amplitude altimétrica ( $\text{km}$ ).

Para verificar o comportamento hidrológico das rochas, são utilizados parâmetros para delimitação e classificação de drenagem. De acordo com a forma das bacias hidrográficas, apresentam-se padrões de drenagem que podem ser classificados em dendrítico, anelar, radial ou paralelo.

### ***Características da Rede de Drenagem***

O comprimento do rio principal ( $L$ ) é um parâmetro que mede a extensão do rio principal de sua nascente até a foz (ou exutório da bacia).

A hierarquia dos canais de drenagem foi obtida com a ferramenta *Stream Order* do conjunto de ferramentas *Spatial Analyst*, com metodologia baseada em Horton (1945) modificada por Strahler (1957), na qual se observa que: os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem aparecem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem a partir da confluência dos canais de segunda ordem; e assim sucessivamente. Essa hierarquização é realizada com a intenção de facilitar e tornar

mais objetivos os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para determinação da densidade de drenagem ( $Dd$ ), utilizou-se a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), na qual a densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias de drenagem pobre a 3,5 km/km<sup>2</sup> em bacias de drenagem ricas. É o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia:

$$Dd = Lt/A,$$

em que:  $Lt$  = comprimento total dos canais (km);  $A$  = área da bacia (km<sup>2</sup>).

O cálculo da textura da topografia ( $Tt$ ) baseia-se principalmente na densidade de drenagem e foi classificado com base na metodologia proposta por França (1968), que indica três classes de  $Tt$ : grosseira (abaixo de 4), média (entre 4 e 10) e fina (acima de 10).

$$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd,$$

em que:  $Dd$  = densidade de drenagem.

O coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) representa uma medida de textura do solo, utilizando-se do índice  $Dd$ , e serve basicamente para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.

$$Cm = 1/Dd \times 1.000,$$

em que:  $Cm$  = coeficiente de manutenção (km<sup>2</sup>/km);  $Dd$  = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

### ***Características do relevo***

O relevo é um fator que influencia diretamente no processo de escoamento e pode ser visualizado por meio de um mapa hipsométrico.

O mapa hipsométrico foi elaborado com a utilização da imagem Aster, por meio da ferramenta 3D *Analyst Tools* no software ArcGIS. Ele possibilita o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia em relação ao nível do mar.

Os índices morfométricos foram calculados e adaptados utilizando-se a metodologia proposta por Christofolletti (1969). Nessa etapa, foram escolhidos alguns índices que servem para verificar a suscetibilidade a enchentes, o comportamento hidrológico das rochas, com a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.

## Resultados e Discussão

A área de estudo apresenta uma área de 904 km<sup>2</sup> e um perímetro de 238 km. Trata-se de uma sub-bacia da bacia hidrográfica Mamanguape que apresenta uma área total de 3.523 km<sup>2</sup>.

Segundo Tonello et al. (2006), o índice fator de forma determina a tendência do formato da bacia, e os resultados obtidos demonstram que a bacia hidrográfica tende a apresentar formato alongado em virtude do baixo valor do fator de forma (0,44), ou seja, próximo de zero (0). Villela e Mattos (1975) afirmam que uma bacia com o fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma (LIRA et al., 2012). Isso se deve ao fato de que, em uma bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Além disso, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos, ao contrário do que ocorre em bacias circulares (UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, 2005).

Os valores obtidos para o índice de circularidade (0,78) e o coeficiente de compacidade (1,12) mostram que a bacia em estudo apresenta um formato mais próximo do alongado, um bom processo de escoamento e, em condições meteorológicas normais, está menos propensa a

inundação, coerente com o dado apresentado também no fator de forma (0,44).

O índice de rugosidade (2,72) foi pouco representativo e é considerado um valor baixo, o que define menor risco de degradação da bacia, uma vez que apresenta pouca variação em seu relevo, com poucos desníveis entre a cabeceira e a seção de referência associados à densa rede de drenagem. O baixo valor apresentado indica que a bacia em estudo tem menor risco a enchentes.

O padrão de drenagem da bacia hidrográfica em estudo é do tipo dendrítica, que se caracteriza pelas formas arborescentes e ocorre em áreas com predomínio de rochas homogêneas de caráter sedimentar e, em certa medida, isotrópicas (igualmente em todas as direções) em relação à erosão pluvial e fluvial.

O rio principal da bacia em estudo apresenta comprimento de 89 km no sentido oeste-leste. O total de canais de drenagem é de 4.740, com o somatório do comprimento dos canais em torno de 1.935 km. Os rios de primeira ordem apresentam 946 km de extensão; os de segunda ordem, 489 km; os de terceira ordem, 238 km; os de quarta ordem, 125 km; os de quinta ordem, 74 km; os de sexta ordem, 31 km e os de sétima ordem, 24 km de extensão. Segundo a classificação de Strahler (1957), a bacia é de sétima ordem.

Nesta pesquisa, foi utilizado um MDE com pixels de 15 m<sup>2</sup>. Carvalho et al. (2010) sugerem que a geração de um MDT com resolução maior, e consequentemente melhor (entre 15 m<sup>2</sup> e 10 m<sup>2</sup>), apresenta melhores resultados, principalmente para drenagens de primeira ordem, que possuem geralmente menores comprimentos, com bases em dados (Figura 3).

A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia e na definição dos parâmetros morfométricos, o que auxilia no manejo e na gestão de bacias hidrográficas (CARDOSO et al., 2006). A densidade



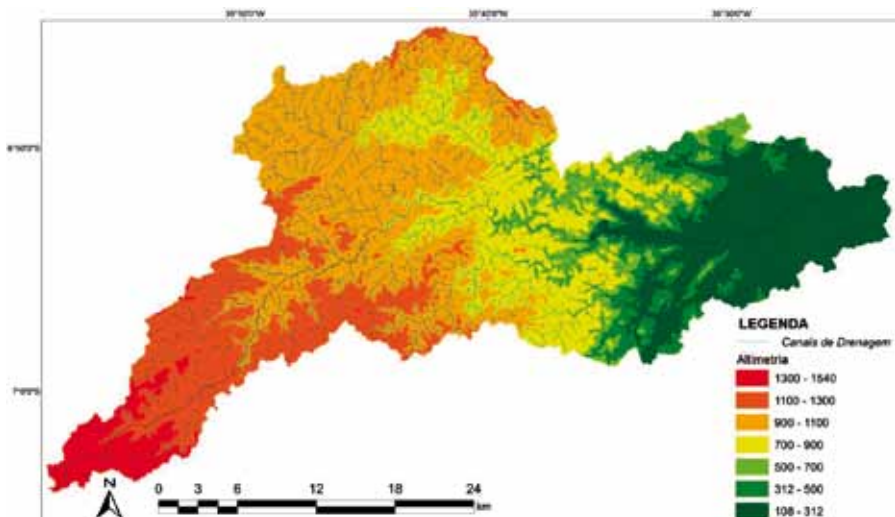


A frequência de rios é um índice que fornece o número de rios por quilômetro quadrado de área hidrológica. Na bacia em estudo, este índice foi de aproximadamente 5,24 canais/km<sup>2</sup> conectados entre si e capazes de drenar água superficial desta área.

A textura de topografia, que indica o grau erosivo da área, foi de 0,62, e pode ser classificada como textura grosseira, que indica o grau de entalhamento topográfico realizado pelos rios (CHRISTOFLETTI, 1969). Além do grau de entalhamento, este índice representa também o grau de dissecação da superfície terrestre. Trata-se de um indicador do estágio erosivo da região e coerente com o trabalho de Barbosa (2006).

O coeficiente de manutenção ( $C_m$ ) da bacia hidrográfica foi de  $0,01 \text{ km}^2/\text{km}$ , que é um valor classificado como baixo. Ou seja, nessa bacia é necessária uma área de  $0,01 \text{ km}^2$  para manter ativo um quilômetro (km) de canal fluvial. Schumm (1956) afirma que o coeficiente de manutenção tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento. Com esse dado, é possível estimar qual seria a área necessária para a manutenção de 1 m de curso fluvial perene, o que permite raciocinar sobre o balanço hidrodinâmico da área.

A amplitude altimétrica corresponde à diferença entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia. A amplitude do desnível médio da bacia hidrográfica em estudo foi de 1,3 km (Figura 4). O desvio padrão da amplitude altimétrica foi de 0,18 km. Segundo Castro Junior (2001), em altitudes elevadas a temperatura é baixa e apenas uma pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar água; ao passo que, em altitudes baixas, quase toda a energia



**Figura 4.** Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica em estudo.

absorvida é usada na evaporação da água, e isso faz com que haja maior evaporação. A altitude da bacia varia de 108 m a 1.380 m, ocorrendo um desnível considerado das nascentes ao exutório da bacia em estudo.

Trentin e Robaina (2005) afirmam que o mapa hipsométrico tem fundamental importância na análise da energia do relevo. Ele indica condições mais propícias à dissecação para áreas de maior altitude, e à acumulação para áreas de menor altitude, fatores observados na bacia em estudo (MARTINI, 2012; SILVA et al., 2011b).

Os resultados da caracterização morfométrica da bacia em estudo estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resumo dos parâmetros morfométricos.

| Característica   | Parâmetro                              | Valores (unidade)                        |
|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Geométrica       | Área da bacia (A)                      | 904 (km <sup>2</sup> )                   |
| Geométrica       | Perímetro da bacia                     | 238 (km)                                 |
| Geométrica       | Fator de forma                         | 0,44 (adimensional)                      |
| Geométrica       | Índice de circularidade                | 0,78 (adimensional)                      |
| Geométrica       | Coefficiente de compacidade            | 2,22 (adimensional)                      |
| Geométrica       | Índice de rugosidade                   | 0,72 (adimensional)                      |
| Geométrica       | Padrão de drenagem                     | Dendrítica                               |
| Rede de drenagem | Comprimento do rio principal           | 89 (km)                                  |
| Rede de drenagem | Canal de drenagem (Strahler)           | 7ª ordem                                 |
| Rede de drenagem | Total de canais de drenagem            | 4.740 (nº)                               |
| Rede de drenagem | Comprimento dos canais de drenagem (Σ) | 1.935 (km)                               |
| Rede de drenagem | Frequência de rios                     | 5,24 (canais km <sup>-2</sup> )          |
| Rede de drenagem | Densidade de drenagem                  | 0,55 (km km <sup>-2</sup> )              |
| Rede de drenagem | Textura de topografia                  | 3,87 (km)                                |
| Rede de drenagem | Coefficiente de manutenção             | 0,01 (km <sup>2</sup> km <sup>-1</sup> ) |
| Relevo           | Amplitude altimétrica                  | 1.272 (m)                                |
| Relevo           | Desvio padrão da amplitude altimétrica | 176 (m)                                  |

## Conclusões

A gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta estratégica para a gestão territorial. As bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação na gestão dos recursos hídricos, uma vez que, além de serem áreas de captação natural da água, são áreas de diversas atividades humanas.

Neste trabalho, apenas uma área foi analisada e comparada com classificações pré-determinadas em outras áreas. A análise morfométrica em escala 1:60.000 apresentou-se satisfatória e permitiu identificar que a bacia em estudo é de sétima ordem. O padrão de drenagem dendrítico, bem ramificado, indica que a erosão ocasional é bem distribuída, e não há concentração em nenhuma área específica, o que diminui a probabilidade de erosão mais severa, como as voçorocas.

O fator de forma, o índice de circularidade, o coeficiente de compacidade e o índice de rugosidade demonstraram que parte do alto e do médio curso da bacia hidrográfica Mamanguape apresenta um formato alongado, e isso contribui para o processo de escoamento e para a baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes. Portanto, conclui-se que, em condições de precipitações anuais normais, a bacia em estudo apresenta baixa suscetibilidade a enchentes.

Como produto, a pesquisa servirá como instrumento de apoio associado a políticas públicas eficientes, com o objetivo de reduzir danos aos municípios por meio da adoção de medidas de controle compatíveis com a comunidade local, considerando os aspectos ambiental, econômico e social. De modo geral, os parâmetros morfométricos são muito importantes para a compreensão dos fatores que afetam o comportamento das bacias, pois auxiliam na tomada de decisão e na elaboração dos planos de gestão.

No exemplo do estudo de caso apresentado neste trabalho, os parâmetros foram utilizados para analisar uma bacia hidrográfica

específica; no entanto, é possível utilizá-los, também, para delimitar, analisar e comparar diferentes áreas, como microbacias, sub-bacias, unidades de conservação, microrregiões, mesorregiões, municípios, estados, fazendas ou solos de uma determinada região. Esses parâmetros permitem, ainda, verificar a suscetibilidade a enchentes, analisar o comportamento hidrológico das rochas, e estimar a área mínima necessária para manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente, assim como foi demonstrado nesta pesquisa.

Como recomendação para futuros trabalhos fica a elaboração de mapas de uso e ocupação da terra e de aptidão agrícola, com informações mais detalhadas da área, nos quais possa ser mostrada a comunidade local como parte de um programa ambiental e geoeconômico.

## Referências

BARBOSA JUNIOR, A. R. Bacia hidrográfica. In: HIDROLOGIA aplicada. [2004]. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~carloveduardo/11BaciaHidrografica.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2012.

BARBOSA, F. de A. dos R.; **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB**. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2006.

BARTH, F. T. Evolução nos aspectos institucionais e no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. In: O ESTADO das águas no Brasil. Brasília, DF: Aneel: ANA, 1999.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 jul. 1934. Seção 1, p. 14738.

BRASIL. Decreto nº 94.076, de 5 março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 mar. 1987.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13

de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 9 jan. 1997, p. 470.

CAMPANHARO, W. A. Diagnostico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES. 2010. 66 f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARVALHO, P. R. de S.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de. Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do Rio Preto. **Espaço e Geografia**, Brasília, DF, v. 13, n. 2, p. 227-307, 2010.

CASTRO JUNIOR, E. O papel da fauna endopodônica na estruturação física dos solos e o seu significado para a hidrologia de superfície. 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 200 p.

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO - ESTG. Instituto Politécnico de Beja. Geomorfologia. In: ENGENHARIA topográfica. [2006] Disponível em: <<http://www.estig.ipbeja.pt/~smms/Hidrologia.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2012.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. Caracterização morfométrica e biológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Serafim, Sub-Bacia do Rio Paraibuna, Juiz de Fora MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa, MG. [Anais...] Viçosa, MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 13., 2009.

FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

HIDALGO, P. **Manejo y conservación de cuencas hidrográficas**. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integrado de Aguas y Tierras, 1985.

HOLLER, W. A.; SPADOTTO, C. A. Geotecnologias como ferramentas de sistematização do conhecimento. **MundoGeo**, Curitiba, ano 14, edição 68, p. 58, maio/jun. 2012.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 56, n. 3, p. 275–370, mar. 1945.

HOTT, M. C.; GUIMARAES, M.; MIRANDA, E. E. de. **Método para determinação automática de Áreas de Preservação Permanente em topos de morro para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. 31 p. (Embrapa-CNPq. Documentos, 34).

IBGE. **Censo 2010**: mapa municipal estatístico. Disponível em <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_estatisticos/censo\\_2010/mapa\\_municipal\\_estatistico/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapa_municipal_estatistico/)>. Acesso em: 30 mar. 2012.

IBGE. SIRGAS: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/centros\\_apres.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/centros_apres.shtm)>. Acesso em: 26 nov. 2012.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D. C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M. C. A. M.; GUIMARÃES, V. S. Evolução da hidrometria no Brasil. In: O ESTADO das águas no Brasil. Brasília, DF: Aneel: ANA, 1999.

KETTELUTH, J. T. S.; RODRIGUES, F. A.; GARRIDO, R. J.; PAIVA, F.; CORDEIRO NETO, O.; RIZZO, H. Aspectos legais, institucionais e gerenciais. In: O ESTADO das águas no Brasil. Brasília, DF: Aneel: ANA, 1999.

LANNA, A. E. A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. In: MUÑOZ, H. R. (Org.). **Interfaces da gestão de recursos hídricos**: desafios da lei de águas de 1997. 2. ed. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p. 75-108.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBAYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Inpe, 2007. p. 3405-3412.

LIRA, E. M. de; NASCIMENTO, F. I. C. do; ALMEIDA, G. O. de. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Amaro, Acre-Brasil. **Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 4, p. 606-612, 2012. Edição especial.

MARTINI, L. C. P. Características morfométricas de microbacias hidrográficas rurais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 65-72, jan./mar. 2012.

MEDINA, N. M. **Dados históricos da educação ambiental internacional**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em: 10 set. 2012.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Aster – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 20 dez. 2011.



PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Brasília, DF: MMA, 1997. 446 p.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, May 1956.

SILVA, G. A. da. Caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata MG. **Revista Visão Acadêmica**, Cidade de Goiás, v. 2, n. 2, p. 45-64, maio 2011.

SILVA, S. R. R. da; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Atualização da base cartográfica digital como apoio à gestão de bacia hidrográfica em Camará, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 63/3, p. 333-340, 2011a.

SILVA, S. R. R. da; OLIVEIRA, B. P. de; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de; ALVES, J. J. A. Uso de imagem CBERS no zoneamento geoambiental em bacia hidrográfica do Estado da Paraíba, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: Inpe, 2011b.

SPADOTTO, C. A. Ocupação agrícola: a importância da gestão territorial. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 9, p. 31. set. 2012.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, Washington, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 859-857, 2006.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Metodologia para mapeamento geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ed. da USP, 2005. p. 3606-3615.

TUCCI, C. E. M.; HESPAHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água. **Bahia Análise e Dados**, Salvador, v. 13, p.357-370, 2003. Número especial.

UMETSU, R. K.; PEREIRA, N.; CAMPOS, E. M. F. de P.; UMETSU, C. A.; MENDONÇA, R. A. M.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, M. F. Análise morfométrica e socioambiental de uma bacia hidrográfica Amazônica, Carlinda, MT. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 83-92, jan./fev. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. Departamento de Hidráulica e Saneamento. **Bacia Hidrográfica**. [2005]. 10 p. Apostila. Disponível em: <[http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila\(cap2\).pdf](http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila(cap2).pdf)>. Acesso em: 11 set. 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 5-18, 1993.



---

## *Gestão Territorial*

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

